

Analisis Kompensasi Daya Reaktif terhadap Faktor Daya Motor Induksi Menggunakan Bank Kapasitor

Yosar Leman¹, Sasha Avrilia¹, Surojo^{1*}

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail: surojosurojo70@gmail.com

Received: 15 Agustus 2026; Received in revised form: 16 Agustus 2026; Accepted: 16 Agustus 2026

Abstract

Induction motors are the most widely used electrical machines in industry and are classified as inductive loads that absorb significant reactive power, resulting in a low power factor. A low power factor increases line current, causes greater distribution losses, and may incur penalty charges from utility companies. This study experimentally analyzes the effect of a switchable capacitor bank on the power factor and line current of a three-phase slip-ring induction motor under three loading conditions ($M = 1.6 \text{ Nm}$, 1.8 Nm , and 2 Nm) at a supply voltage of $380 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. Eight capacitor bank switching levels ranging from 0 to 1,350 VAR were tested. The results show that the power factor improved significantly from 0.23–0.28 (no compensation) to 0.53–0.55 at the optimal level (1+2+3+4), while the line current decreased by up to 53% from 1.57–1.72 A to 0.73–0.82 A. The motor current remained unaffected by compensation, confirming that capacitive compensation only reduces reactive current on the supply side. Over-compensation was also observed when excessive capacitance was applied, causing the power factor to deteriorate. These findings confirm that proper capacitor bank sizing is critical and must match the reactive power demand at each load condition.

Keywords: Induction motors; Capacitors bank; Reactive power; Power factor; Capacitive compensation

Abstrak

Motor induksi merupakan mesin listrik yang paling banyak digunakan di industri dan dikategorikan sebagai beban induktif yang menyerap daya reaktif dalam jumlah signifikan, sehingga mengakibatkan faktor daya yang rendah. Faktor daya yang rendah menyebabkan arus jaringan lebih besar, kerugian distribusi meningkat, serta berpotensi dikenakan denda oleh perusahaan listrik. Penelitian ini secara eksperimental menganalisis pengaruh bank kapasitor yang dapat disakelar terhadap faktor daya dan arus jaringan motor induksi tiga fasa rotor belitan pada tiga kondisi pembebanan ($M = 1,6 \text{ Nm}$; $1,8 \text{ Nm}$; dan 2 Nm) pada tegangan suplai $380 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. Delapan level penyakelaran bank kapasitor diuji dengan rentang daya reaktif kapasitif 0 hingga 1.350 VAR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor daya meningkat secara signifikan dari 0,23–0,28 (tanpa kompensasi) menjadi 0,53–0,55 pada level optimal (1+2+3+4), sementara arus jaringan turun hingga 53% dari 1,57–1,72 A menjadi 0,73–0,82 A. Arus motor tidak terpengaruh oleh kompensasi, yang mengonfirmasi bahwa kompensasi kapasitif hanya mereduksi arus reaktif di sisi suplai. Kompensasi berlebih juga teramati saat kapasitansi berlebihan ditambahkan, menyebabkan faktor daya memburuk kembali. Temuan ini menegaskan bahwa penentuan ukuran bank kapasitor yang tepat sangat kritis dan harus disesuaikan dengan kebutuhan daya reaktif pada setiap kondisi pembebanan.

Kata kunci: Motor Induksi; Bank Kapasitor; Daya Reaktif; Faktor Daya; Kompensasi Kapasitif

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri karena konstruksinya yang sederhana, handal, dan biaya perawatan yang rendah [1]. Diperkirakan 70–80% energi

listrik di seluruh dunia dikonsumsi oleh motor-motor listrik induksi [2]. Namun demikian, motor induksi beroperasi sebagai beban induktif yang menyerap daya reaktif dari jaringan listrik untuk membangun medan magnet di dalam stator dan rotor. Penyerapan daya reaktif ini menyebabkan timbulnya

selisih fasa antara tegangan dan arus, yang dinyatakan dengan faktor daya ($\cos \phi$) bernilai rendah (*lagging*).

Faktor daya yang rendah menimbulkan berbagai dampak negatif, di antaranya: peningkatan arus jaringan yang memperburuk rugi-rugi pada saluran distribusi, pembesaran dimensi penghantar dan transformator, serta penurunan kapasitas penyaluran daya sistem. Sebagai gambaran, pada faktor daya 0,8 penampang kabel harus 25% lebih besar dibandingkan sistem dengan faktor daya 1 [3]. Selain itu, perusahaan penyedia listrik di Indonesia mewajibkan konsumen industri untuk mempertahankan faktor daya rata-rata tidak kurang dari 0,85 dan mengenakan denda apabila batas tersebut tidak dipenuhi [4].

Kompensasi daya reaktif menggunakan bank kapasitor merupakan solusi yang paling umum, ekonomis, dan efektif untuk memperbaiki faktor daya [5]. Kapasitor yang dipasang secara paralel dengan beban induktif dapat menyuplai daya reaktif kapasitif yang berlawanan arah dengan daya reaktif induktif motor, sehingga mengurangi daya reaktif yang harus ditarik dari jaringan suplai [6]. Bank kapasitor dapat disusun dalam beberapa tingkat (*switchable*) untuk mengakomodasi variasi beban secara fleksibel [7].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji perbaikan faktor daya motor induksi menggunakan kapasitor. Sinaga dkk. [8] menganalisis pengaruh pemasangan kapasitor paralel terhadap faktor daya motor induksi tiga fasa di industri dan memperoleh peningkatan faktor daya yang signifikan setelah pemasangan kapasitor bank. Fatoni dan Supriadi [9] meneliti efek pemasangan kapasitor pada motor induksi tiga fasa tak berbeban dan menemukan bahwa faktor daya meningkat secara signifikan dari 0,14 tanpa kapasitor menjadi 0,85 pada pemasangan kapasitor 33 μF . Penelitian oleh Prasetyo dkk.

[6] menganalisis pemasangan bank kapasitor terhadap perubahan faktor daya dan jatuh tegangan pada unit pembangkit listrik. Syafruddin dkk. [5] melakukan studi kompensasi daya reaktif terhadap kenaikan faktor daya menggunakan bank kapasitor dan regulator daya reaktif. Lestari dkk. [10] menganalisis variasi nilai kapasitor bank terhadap kinerja motor induksi menggunakan simulasi ETAP dan memperoleh penurunan arus input motor hingga 45%.

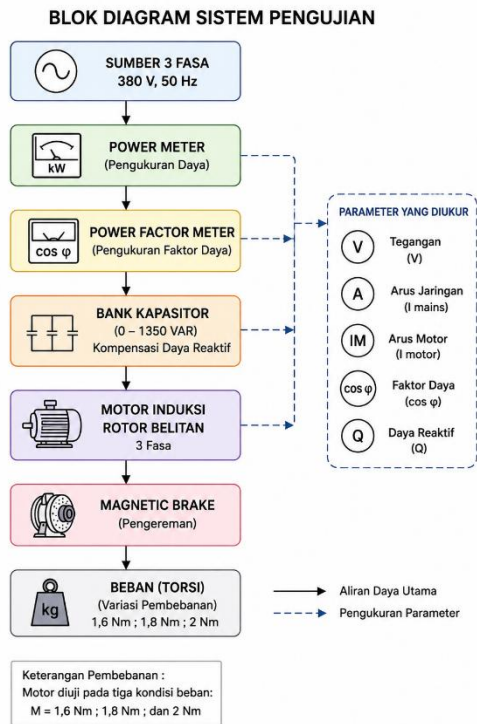
Meskipun demikian, kajian eksperimental yang secara sistematis menganalisis pengaruh variasi tingkat bank kapasitor (*multi-level switching*) terhadap faktor daya dan arus jaringan pada beberapa kondisi pembebanan motor induksi secara bersamaan masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis secara eksperimental pengaruh tingkat kompensasi bank kapasitor terhadap faktor daya motor induksi pada variasi beban; (2) menentukan level kapasitor optimal untuk setiap kondisi pembebanan; dan (3) mengkaji fenomena kompensasi berlebih (*over-compensation*) yang terjadi ketika kapasitansi melebihi kebutuhan daya reaktif motor.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan mengoperasikan motor induksi rotor belitan tiga fasa pada tiga kondisi pembebanan berbeda dan mengukur parameter kelistrikan pada delapan tingkat level bank kapasitor yang berbeda. Pendekatan ini memungkinkan observasi langsung terhadap perubahan faktor daya, daya reaktif, dan arus jaringan sebagai fungsi dari kapasitansi kompensasi.

Alur sistem pengujian yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Pengujian

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem pengujian yang digunakan dalam penelitian. Sistem terdiri dari sumber tegangan tiga fasa 380 V, instrumen pengukuran, bank kapasitor, motor induksi rotor belitan, dan magnetic brake sebagai pembeban. Variasi level bank kapasitor diberikan untuk mengamati perubahan faktor daya, daya reaktif, arus jaringan, dan arus

motor pada beberapa kondisi pembebanan. Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis untuk menentukan tingkat kompensasi yang optimal.

2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Peralatan yang digunakan dalam penelitian

No.	Kode Alat	Nama Peralatan
1.	DL 1017RHD3	Starter for slip-ring motor
2.	DL 1019P	Magnetic power brake
3.	DL 1022	Slip-ring motor
4.	DL 1054TT	Brake control unit
5.	DL 2006E	Load cell
6.	DL 2031	Optical electronic generator
7.	DL 2108TAL	Three-phase power supply unit
8.	DL 2108T20	Switchable capacitor battery
9.	DL 2109T26	Power meter
10.	DL 2109T27	Power factor meter
11.	DL 2109T2A5	Moving-iron ammeter (2.5 A)

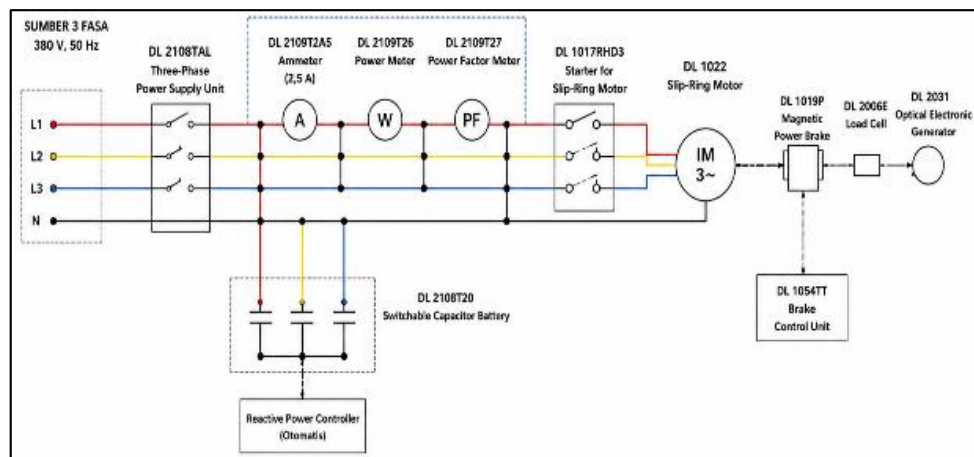
2.3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari:

- 1) Variabel bebas, yaitu level bank kapasitor (0, 1, 1+2, 1+2+3, 1+2+3+4, 2+3+4, 3+4, dan 4) dengan daya reaktif kapasitif (Q_c) masing-masing 0; 90; 270; 630; 1.350; 1.260; 1.080; dan 720 VAR.
- 2) Variabel terikat, yaitu faktor daya ($\cos \phi$), daya reaktif (Q), arus jaringan (I mains), dan arus motor (I motor).
- 3) Variabel kontrol, yaitu tegangan suplai 380 V, frekuensi sistem 50 Hz dan kondisi beban $M = 1,6$ Nm; 1,8 Nm; dan 2 Nm

2.4. Konfigurasi Rangkaian Pengujian

Konfigurasi rangkaian pengujian dirancang untuk mengevaluasi pengaruh kompensasi daya reaktif menggunakan bank kapasitor terhadap faktor daya motor induksi tiga fasa rotor belitan. Sistem pengujian terdiri dari sumber tegangan tiga fasa, instrumen pengukuran, bank kapasitor, motor induksi, serta perangkat pembebanan. Susunan hubungan antarperalatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Rangkaian Pengujian

Pada gambar 2 menunjukkan konfigurasi rangkaian pengujian kompensasi daya reaktif menggunakan bank kapasitor pada motor induksi tiga fasa rotor belitan. Sumber tegangan tiga fasa 380 V, 50 Hz dari unit catu daya (DL 2108TAL) disalurkan menuju motor melalui instrumen pengukuran yang terdiri dari amperemeter (DL 2109T2A5), power meter (DL 2109T26), dan power factor meter (DL 2109T27). Bank kapasitor bertingkat (DL 2108T20) dihubungkan secara paralel terhadap motor dan dioperasikan melalui Reactive Power Controller (manual) untuk menghasilkan beberapa level kompensasi daya reaktif. Motor induksi rotor belitan (DL 1022) dibebani menggunakan magnetic power brake (DL 1019P) yang dikendalikan oleh brake control unit (DL 1054TT). Besarnya torsi pembebanan diukur menggunakan load cell (DL 2006E), sedangkan kecepatan putar motor dipantau menggunakan optical electronic generator (DL 2031). Selama pengujian, parameter yang diamati meliputi faktor daya ($\cos \phi$), daya aktif (P), daya reaktif (Q), arus jaringan (I mains), dan arus motor (I motor) pada berbagai level bank kapasitor dan kondisi pembebanan.

2.5. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan modul praktikum De Lorenzo DL GTU104.1 – Eksperimen 1: Reactive Power Compensation [3].

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut:

- 1) Rangkaian disusun sesuai diagram topografi, dengan amperemeter, power factor meter, dan power meter dipasang dalam jalur arus yang sama;
- 2) Stator motor dioperasikan dalam koneksi bintang dengan tahanan penuh pada rangkaian rotor, yang secara bertahap dikurangi seiring peningkatan kecepatan;
- 3) Semua sakelar bank kapasitor diposisikan pada posisi kiri (kapasitor tidak terhubung);
- 4) Motor dijalankan dan rem dikondisikan pada beban yang ditentukan;
- 5) Kapasitor dihubungkan secara bertahap mulai dari level 0 hingga kombinasi 1+2+3+4, kemudian dikurangi kembali;
- 6) Pada setiap level, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, arus jaringan, dan arus motor dicatat.

2.6. Dasar Teori dan Persamaan

Dalam sistem tenaga listrik AC, daya terbagi menjadi tiga komponen yang membentuk segitiga daya. Daya aktif (P) merupakan daya yang benar-benar melakukan kerja, dinyatakan dalam watt (W). Daya reaktif (Q) merupakan daya yang berosilasi bolak-balik antara sumber dan beban untuk membangun medan magnet atau medan listrik, dinyatakan dalam var. Daya semu (S) adalah resultan dari keduanya, dinyatakan dalam VA [3].

Hubungan ketiga komponen daya tersebut dinyatakan dalam Persamaan (1) hingga (4):

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \quad (1)$$

$$\cos \phi = P / S \quad (2)$$

$$Q = P \times \tan \phi \quad (3)$$

$$QC = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (4)$$

dengan S adalah daya semu (VA), P adalah daya aktif (W), Q adalah daya reaktif (var), $\cos \phi$ adalah faktor daya, QC adalah

daya reaktif kapasitif yang dibutuhkan (var), ϕ_1 adalah sudut fasa awal, dan ϕ_2 adalah sudut fasa yang diinginkan setelah kompensasi.

Nilai kapasitansi yang dibutuhkan untuk kompensasi dalam sistem tiga fasa hubungan bintang dihitung menggunakan Persamaan (5) [3]:

$$C = \frac{QC}{(2\pi f \times U^2)} \quad (5)$$

dengan C adalah kapasitansi (F), f adalah frekuensi jaringan (Hz), dan U adalah tegangan jalur (V).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada tiga kondisi pembebanan motor dengan variasi delapan level bank kapasitor. Tegangan suplai dijaga konstan pada 380 V / 50 Hz. Tabel 2, 3, dan 4 menyajikan hasil pengukuran lengkap untuk masing-masing kondisi pembebanan.

Tabel 2. Data hasil pengukuran pada beban M = 1,6 Nm

Battery level	Cap μF	Qc (Var)	Cos ϕ	P (Watt)	Q (var)	I (A)	V (Volt)	S (VA)	Iu (A)	Im (A)
0	0	0	0,23	103	377	1,64	238	390,32	1.57	1.68
1	2	90	0,26	106	349	1,53	238	364,14	1.46	1.67
1+2	6	270	0,33	114	289	1,3	238	309,4	1.23	1.68
1+2+3	14	630	0,53	107	156	0,79	238	188,02	0.74	1.68
1+2+3+4	30	1350	0,53	110	153	0,78	238	185,64	0.74	1.65
2+3+4	28	1260	0,45	99	179	0,87	237	206,19	0.81	1.66
3+4	24	1080	0,38	106	233	1,08	237	255,96	1.03	1.65
4	16	720	0,24	105	369	1,61	237	381,57	1.53	1.65

Tabel 3. Data hasil pengukuran pada beban M = 1,8 Nm

Battery level	Cap μF	Qc (Var)	Cos ϕ	P (Watt)	Q (var)	I (A)	V (Volt)	S (VA)	Iu (A)	Im (A)
0	0	0	0,25	105	367	1,61	237	381,57	1,55	1,65
1	2	90	0,27	105	342	1,51	237	357,87	1,44	1,66
1+2	6	270	0,34	113	280	1,27	237	300,99	1,21	1,65
1+2+3	14	630	0,54	106	150	0,78	237	184,86	0,73	1,65
1+2+3+4	30	1350	0,54	108	149	0,78	236	184,08	0,73	1,65
2+3+4	28	1260	0,46	100	182	0,88	237	208,56	0,82	1,65
3+4	24	1080	0,38	106	235	1,09	237	258,33	1,03	1,65
4	16	720	0,24	102	368	1,61	237	381,57	1,54	1,65

Tabel 4. Data hasil pengukuran pada beban $M = 2 \text{ Nm}$

Battery level	Cap μF	Qc (Var)	Cos $\emptyset$	P (Watt)	Q (var)	I (A)	V (Volt)	S (VA)	Iu (A)	Im (A)
0	0	0	0,28	123	390	1,72	238	409,36	1,68	1,75
1	2	90	0,3	128	364	1,61	238	383,18	1,54	1,75
1+2	6	270	0,38	130	300	1,38	237	327,06	1,31	1,75
1+2+3	14	630	0,55	123	171	0,89	237	210,93	1,83	1,73
1+2+3+4	30	1350	0,55	121	168	0,87	237	206,19	0,82	1,72
2+3+4	28	1260	0,48	119	195	0,96	237	227,52	0,9	1,73
3+4	24	1080	0,41	124	253	1,18	237	279,66	1,12	1,74
4	16	720	0,28	125	385	1,7	237	402,9	1,62	1,71

3.2. Analisis Pengaruh Level Bank Kapasitor terhadap Faktor Daya (cos $\emptyset$)

Berdasarkan data pada Tabel 2–4, dapat diamati bahwa tanpa kompensasi kapasitif (level 0, $Q_c = 0 \text{ VAR}$), faktor daya motor induksi sangat rendah, yaitu 0,23 pada beban $M = 1,6 \text{ Nm}$; 0,25 pada $M = 1,8 \text{ Nm}$; dan 0,28 pada $M = 2 \text{ Nm}$. Nilai ini jauh di bawah standar minimum yang dipersyaratkan, yaitu 0,85 lagging [4]. Kondisi ini mengindikasikan dominasi daya reaktif induktif yang sangat besar dibandingkan daya aktif, yang konsisten dengan karakteristik motor induksi pada kondisi operasi ringan [9].

Seiring bertambahnya level bank kapasitor, faktor daya meningkat secara bertahap. Peningkatan paling signifikan terjadi pada penambahan level 1+2+3 ($Q_c = 630 \text{ VAR}$) ke level 1+2+3+4 ($Q_c = 1.350 \text{ VAR}$), di mana faktor daya mencapai nilai tertinggi 0,53–0,55 untuk ketiga kondisi beban. Hasil ini sejalan dengan temuan Fatoni dan Supriadi [9] yang melaporkan peningkatan signifikan faktor daya motor induksi seiring bertambahnya kapasitansi. Demikian pula, penelitian Lestari dkk. [10] dengan simulasi ETAP menunjukkan penurunan daya reaktif hingga 70% dari nilai awal setelah pemasangan bank kapasitor yang tepat.

Fenomena penting yang teramati adalah penurunan faktor daya kembali ketika level bank kapasitor melebihi nilai optimal. Pada level 2+3+4 ($Q_c = 1.260 \text{ VAR}$), 3+4 ($Q_c = 1.080 \text{ VAR}$), dan khususnya level 4 saja ($Q_c = 720 \text{ VAR}$), faktor daya turun drastis kembali mendekati nilai awal tanpa kompensasi. Hal ini merupakan indikasi terjadinya over-compensation atau kompensasi berlebihan, yaitu kondisi di mana daya reaktif kapasitif

melebihi daya reaktif induktif yang dibutuhkan motor sehingga beban berubah sifatnya menjadi kapasitif (leading). Sinaga dkk. [8] menekankan bahwa pemasangan kapasitor yang terlalu besar dapat berdampak pada naiknya tegangan kerja motor yang berpotensi merusak isolasi motor.

Perbandingan antara ketiga kondisi beban menunjukkan bahwa semakin besar torsi beban, nilai faktor daya awal (tanpa kompensasi) cenderung lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh peningkatan daya aktif (P) yang lebih besar dibandingkan perubahan daya reaktif (Q) seiring pertambahan beban, sehingga sudut fasa ϕ mengecil dan cos ϕ meningkat. Fenomena ini konsisten dengan karakteristik umum motor induksi yang dibahas oleh Zondra [11].

3.3. Analisis Pengaruh Level Bank Kapasitor terhadap Arus Jaringan dan Arus Motor

Salah satu manfaat utama kompensasi daya reaktif adalah pengurangan arus jaringan (I mains). Berdasarkan data pengukuran, tanpa kompensasi arus jaringan berada pada rentang 1,57–1,72 A untuk ketiga kondisi beban. Pada level optimal 1+2+3+4, arus jaringan turun drastis menjadi 0,73–0,82 A, yang merepresentasikan penurunan sebesar 52–53%.

Penurunan arus jaringan ini terjadi karena kompensasi kapasitif mengurangi komponen reaktif arus yang harus disuplai dari jaringan. Kapasitor menyuplai arus reaktif kapasitif secara lokal kepada motor, sehingga arus reaktif induktif tidak perlu lagi ditarik dari jaringan dalam jumlah besar.

Sebaliknya, arus motor (I motor) menunjukkan nilai yang relatif konstan di semua level bank kapasitor, yaitu sekitar

1,65–1,75 A. Hal ini secara eksperimental mengonfirmasi bahwa bank kapasitor yang dipasang di sisi suplai (antara jaringan dan terminal motor) tidak mempengaruhi kondisi operasi internal motor. Arus motor tetap ditentukan oleh beban mekanik dan karakteristik motor itu sendiri, bukan oleh level kompensasi [8]. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Lestari dkk. [10] yang juga melaporkan bahwa arus input motor tidak berubah secara signifikan setelah pemasangan bank kapasitor.

3.4. Analisis Komparasi Nilai $\cos \phi$ Terukur dan Terhitung

Tabel 2–4 juga menyajikan perbandingan antara nilai $\cos \phi$ yang diukur langsung oleh power factor meter dengan nilai $\cos \phi$ yang dihitung berdasarkan Persamaan (1) dari pembacaan daya aktif (P) dan daya semu ($S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$). Dari data tersebut terlihat bahwa nilai $\cos \phi$ hasil perhitungan secara konsisten lebih tinggi 1–5% dibandingkan nilai pengukuran langsung.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor: (1) adanya harmonisa tegangan dan arus yang dihasilkan oleh komutasi pada rangkaian daya, yang tidak diperhitungkan dalam persamaan ideal; (2) keterbatasan resolusi dan akurasi instrumen pengukur, terutama amperemeter besi bergerak yang memiliki akurasi terbatas pada frekuensi 50 Hz; serta (3) pengaruh ketidakseimbangan impedansi pada sistem tiga fasa [6]. Meskipun demikian, perbedaan yang relatif kecil ini tidak mempengaruhi kesimpulan utama mengenai tren perbaikan faktor daya.

3.5. Penentuan Level Kompensasi Optimal

Berdasarkan seluruh data yang diperoleh, level bank kapasitor 1+2+3+4 ($Q_c = 1.350$ VAR) secara konsisten menghasilkan faktor daya dan arus jaringan terbaik pada ketiga kondisi beban yang diuji. Namun perlu diperhatikan bahwa nilai $\cos \phi$ yang dicapai (0,53–0,55) masih belum memenuhi standar minimum 0,85 yang dipersyaratkan PLN [4]. Hal ini disebabkan kapasitas bank kapasitor yang tersedia (maksimum 1.350 VAR) belum mencukupi untuk mengkompensasi seluruh daya reaktif yang diserap motor induksi 1,1 kW pada kondisi operasi yang diuji.

Untuk mencapai target $\cos \phi = 0,85$ pada beban $M = 2$ Nm, daya reaktif kapasitif yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan Persamaan (4):

$$\begin{aligned} QC &= P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \\ &= 123 (\tan(\cos^{-1} 0,28) - \tan(\cos^{-1} 0,85)) \\ &= 123 (3,17 - 0,62) \\ &= 313,7 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan ini mengindikasikan bahwa kapasitor tambahan dengan kapasitas total sekitar 314 VAR (di atas level 1+2+3+4 yang sudah ada) diperlukan untuk memenuhi persyaratan faktor daya minimal 0,85.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

- 1) Bank kapasitor terbukti secara eksperimental mampu meningkatkan faktor daya motor induksi tiga fasa secara signifikan. Pada kondisi tanpa kompensasi, faktor daya motor hanya berkisar 0,23–0,28 (sangat induktif). Dengan penambahan bank kapasitor secara bertahap hingga level optimal (1+2+3+4, $Q_c = 1.350$ VAR), faktor daya meningkat menjadi 0,53–0,55, merepresentasikan peningkatan sebesar 96–130%.
- 2) Kompensasi bank kapasitor berhasil menurunkan arus jaringan hingga 52–53%, dari rentang 1,57–1,72 A tanpa kompensasi menjadi 0,73–0,82 A pada level optimal. Penurunan arus jaringan ini berdampak langsung pada pengurangan rugi-rugi saluran distribusi. Sementara itu, arus motor tidak terpengaruh oleh level kompensasi, mengonfirmasi bahwa kompensasi kapasitif hanya bekerja pada sisi suplai jaringan.
- 3) Fenomena kompensasi berlebih (over-compensation) teramati ketika kapasitansi yang dihubungkan melebihi kebutuhan reaktif motor. Kondisi ini menyebabkan faktor daya menurun kembali karena sifat beban berubah dari induktif menjadi kapasitif. Oleh karena itu, penentuan ukuran bank kapasitor yang tepat sangat kritis.
- 4) Kondisi beban motor mempengaruhi kebutuhan kapasitor optimal: semakin besar torsi beban, faktor daya awal lebih tinggi, namun level kapasitor optimal tetap pada 1+2+3+4 untuk ketiga beban yang diuji (1,6; 1,8; dan 2 Nm).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Baskoro, E. Zondra, and M. P. Halilintar, "Analisis Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metode

- Measured Current Only (Mco)," *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, pp. 22–31, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31849/teknik.v17i1>
- [2] M. Ayaz, S. M. H. Rizvi, and M. Akbar, "Dynamic Power Factor Correction in Industrial Systems: An Automated Capacitor Bank Control Approach," in *2023 2nd International Conference on Emerging Trends in Electrical, Control, and Telecommunication Engineering, ETECTE 2023 - Proceedings*, 2023. doi: 10.1109/ETECTE59617.2023.10396685.
- [3] D. Lorenzo, *Power Factor Improvement DL GTU104.1*. Rozzano, Italy: De Lorenzo S.P.A., 2011.
- [4] B. Ferdiansah, A. Margiantono, and F. Ahmad, "Analisis Pengaruh Kapasitor Bank Terhadap Nilai Faktor Daya Dan Nilai Jatuh Tegangan," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 234–241, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i2.20893.
- [5] S. HS, J. Napitupulu, J. Sinaga, and B. Sitorus, "Studi Kompensasi Daya Reaktif Terhadap Kenaikan Faktor Daya," *J. Teknol. ENERGI UDA*, vol. 11, no. 1, pp. 11–20, 2022.
- [6] M. D. Prasetyo, S. I. Haryudo, Joko, and A. I. Agung, "Analisis Pemasangan Kapasitor Bank Terhadap Perubahan Nilai Faktor Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Unit Power Plant Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi Cepu," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 02, pp. 208–217, 2022.
- [7] D. A. Basudewa, W. Aribowo, M. Widyartono, and A. C. Hermawan, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank terhadap Faktor Daya Pada Gedung IDB Laboratory UNESA," *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 03, pp. 697–707, 2020.
- [8] R. A. Sinaga, H. Eteruddin, and A. Tanjung, "PENGARUH KAPASITOR TERHADAP FAKTOR DAYA MOTOR INDUKSI TIGA PHASA DI PT. MALINDO KARYA LESTARI," *J. Tek.*, vol. 15, no. 2, pp. 85–93, 2021.
- [9] Fatoni and O. Supriadi, "Efek Pemasangan Kapasitor terhadap Motor Induksi Tiga Fasa Tak Berbeban," *Epic J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 5, no. 1, p. 99, 2022, doi: 10.32493/epic.v5i1.20555.
- [10] A. D. Lestari, Sunarto, and T. Tohir, "Analisis Pengaruh Variasi Nilai Kapasitor Bank terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan ETAP," in *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2022, pp. 13–14. [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/4284>
- [11] E. Zondra and Arlenny, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 232–241, 2015, [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin>